

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу

ЗАЛІЗОБЕТОННІ ТА КАМ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ

*(для студентів 3, 4 курсів денної і заочної форм навчання
та слухачів другої вищої освіти напряму підготовки
6.060101 – „Будівництво” спеціальності „Промислове і цивільне
будівництво” та „Охорона праці в будівництві”)*

**Харків
ХНАМГ
2013**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Залізобетонні та кам'яні конструкції» (для студентів 3, 4 курсів денної і заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти напряму підготовки 6.060101 – „Будівництво” спеціальності „Промислове і цивільне будівництво” та „Охорона праці в будівництві”) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Є. Г. Стоянов, Н. О. Псурцева. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 15 с.

Укладачі: Є. Г. Стоянов, Н. О. Псурцева

Рецензент: д.т.н., проф. В. С. Шмуклер

Рекомендовано кафедрою будівельних конструкцій,
протокол № 4 від 14 січня 2013 р.

Зміст

	Стор.
1. Загальні положення	4
2. Лабораторна робота № 1. Визначення міцнісних і деформативних характеристик бетону	4
3. Лабораторна робота № 2. Визначення фізико-механічних характеристик арматурної сталі	6
4. Лабораторна робота № 3. Випробування балки на згин з руйнуванням її в нормальному перерізі	8
5. Лабораторна робота № 4. Випробування залізобетонної балки на згин з руйнуванням її в похилому перерізі	11

Загальні положення

Ці вказівки розроблені для допомоги студентам в освоєнні термінології і оформлення отриманих результатів випробувань при виконанні лабораторних робіт з курсу «Залізобетонні конструкції».

При виконанні лабораторних робіт студенти самостійно виготовляють зразки для випробувань, ладнають їх до випробувань, ознайомлюються з машинами і приладами для випробувань, а також з методикою обробки отриманих даних, аналізом результатів і узагальненням матеріалів.

Лабораторні роботи використовують як ілюстрацію до викладаємого лекційного матеріалу.

Лабораторна робота № 1

Визначення міцнісних і деформативних характеристик бетону

Цілі роботи

1. Знайомство з методикою визначення міцності і деформативності бетону.
2. Визначення міцності бетону за результатами випробувань зразків.
3. Визначення деформативних характеристик бетонних зразків.
4. Визначення характеру руйнування бетонних зразків.

Для випробувань використовують зразки (кубики і призми), розмір яких з точністю до 1 мм записують в табл. 1.1.

Випробування зразків виконують на пресі за схемами, що наведені на рис. 1.1, 1.2.

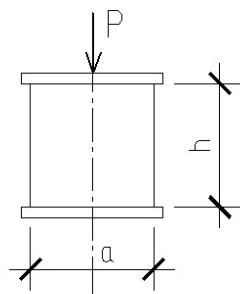


Рис. 1.1

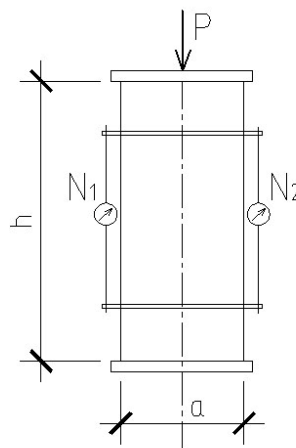


Рис. 1.2

Таблиця 1.1

№ зразка	Робоча площа перерізу A , см ²	Руйнуюче зусилля P_{max} , кН	Межа міцності $F_{ck,cube}=P_{max}/A$, $F_{ck,prism}=P_{max}/A$, кН/см ²	Коефіцієнт масштабу K	Клас бетону
1					
2					
3					

Коефіцієнт масштабу K залежить від розмірів зразку і дорівнює для кубиків 100х100х100 мм – 0,92,
150х150х150 мм – 1,0,
200х200х200 мм – 1,04.

Характер руйнування кубиків і призм виписується студентами в журнал випробувань.

Призменну міцність бетону визначають експериментально на бетонних призмах із співвідношенням розмірів $h/a \geq 4$. Призму центрально стискають ступенями, і для кожної ступені навантаження фіксують деформації $\varepsilon_c = \Delta h_i / h$. Кожна ступінь додає навантаження 5...10% від руйнуючого. Дані випробувань заносять в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

P , кН	A , см ²	$\sigma_c = P/A$, кН/см ²	Показання індикаторів								
			N_1			N_2			N_3		
			A_1	ΔA_1	$\Sigma \Delta A_1$	A_2	ΔA_2	$\Sigma \Delta A_2$	A_3	ΔA_3	$\Sigma \Delta A_3$
P_1											
P_2											
P_3											

Продовження таблиці

N_4			$\sigma_c = P/A$, кН/см ²	Показання індикаторів	$\Delta A_m = \Sigma \Sigma \Delta A_i / 4$	$\varepsilon_c = \Delta A_m * c / h$	$E_{cd} = \sigma_c / \varepsilon_c$
A_4	ΔA_4	$\Sigma \Delta A_4$...			
			...				
			...				
			...				

де c – ціна поділки шкали індикатора, мм.

Начальний модуль пружності бетону визначають при напруженнях, що виникають від навантаження $P \sim 0.2 P_{max}$.

Визначений модуль E_{cd} можна порівняти з наведеним в ДБН В.2.6:2009 залежно від класу бетону.

Питання для самоперевірки

1. Які задачі вирішуються в процесі випробувань?
2. Що означають марки і класи бетону? Як вони визначаються?
3. Поясніть процес утворення тріщин у зразках.
4. Які фактори впливають на характер руйнування зразків?
5. Чому враховують масштабний фактор при визначенні класу бетону?
6. Чому призменна міцність бетону менше кубової?
7. Чому модуль пружності бетону не є постійною величиною?

Лабораторна робота № 2

Визначення фізико-механічних характеристик арматурної сталі

Цілі роботи

1. Визначення фізико-механічних характеристик арматурної сталі.
2. Визначення класу арматурної сталі.

Для отримання характеристик арматурної сталі рекомендують відібрати зразки гладкої арматури класу А240С діаметром 6...10 мм, арматури періодичного профілю класу А400С діаметром 8...12 мм і дротової арматури класу В500 діаметром 3...5 мм.

На кожному зразку наносять мітки через 10 мм на довжині не менше 10 діаметрів зразку (рис. 2.1). Випробування виконують на розривній машині до руйнування зразку (розриву).

Швидкість навантаження до межі текучості не повинна перевищувати 10 МПа/с.

Геометричні розміри зразків і підсумки випробувань заносять до табл. 2.1.

Після розриву зразок зарисовують (рис. 2.2).

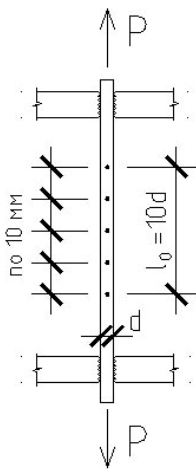


Рис. 2.1

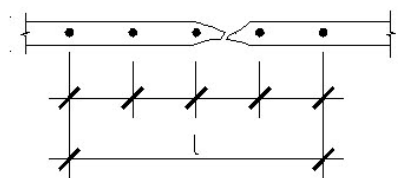


Рис. 2.2

Таблиця 2.1

№ зразка	d, мм	Площа перерізу A_s , см ²	l_0 , м	Навантаження, кН		Міцність арматури, кН/см ²		Пластичність арматури		Клас сталі
				до межі течуч P_y	до розриву P_{max}	межа течуч. $f_{y,max}$	межа міцн. f_t	Δl_0 , мм	ε , %	
1										
2										
3										

Межа текучості $f_{y,max} = P_y / A_s$,

межа міцності $f_t = P_{max} / A_s$,

відносна деформація розтягу при розриві $\varepsilon = [(l - l_0) / l_0] * 100\%$.

Після випробувань студенти зарисовують для кожного зразку копії діаграм «напруження-деформації», що видана розривною машиною (рис. 2.3).

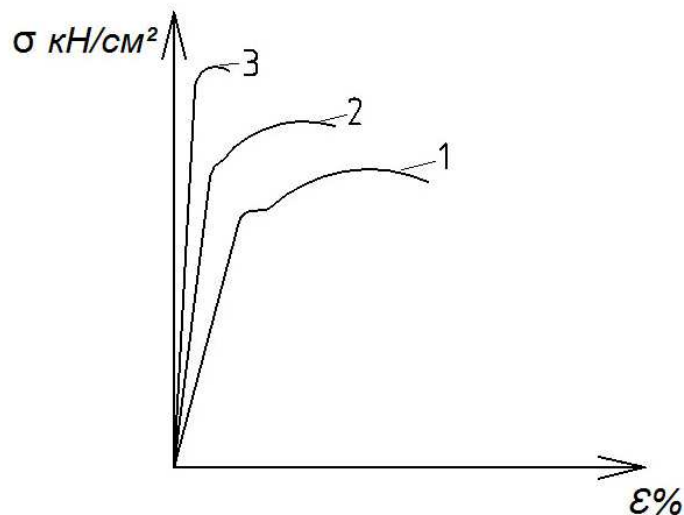


Рис. 2.3

Якщо явно виражена межа текучості на діаграмі відсутня (арматура не має фізичної межі текучості), то визначають умовну межу текучості як напруження, що відповідають остаточній відносній деформації $\Delta \varepsilon_{0,2} = 0,2\% * \varepsilon$.

Запитання для самоперевірки

1. Якими є цілі випробувань арматурної сталі?
2. Які існують методи зміцнювання м'якої арматурної сталі?
3. Поясніть характерну поведінку зразку при випробуванні типу «навантаження-розвантаження».
4. Як визначають остаточну деформацію зразку?
5. Як визначають пружну і пластичну деформації?
6. Що таке умовна межа текучості?

Лабораторна робота № 3

Випробування балки на згин з руйнуванням її в нормальному перерізі

Ціль роботи

Навчити студентів методиці визначення міцності, жорсткості і тріщиностійкості залізобетонних згинальних елементів.

Під час виконання роботи вирішуються такі задачі:

1. Визначається несуча здатність балки теоретичним шляхом.
2. Фіксуються прогини, характер і ширина розкриття тріщин під час ступінчастого навантаження балки.
3. Визначається фактична величина несучої здатності балки і порівнюється з теоретичною.

Для випробувань використовують такі прилади:

- індикатори часового типу для визначення прогинів,
- тензометри типу ТР-1 з базою 20 мм, ціною поділки 0.001 мм для визначення деформацій в арматурі,
- мікроскоп з ціною поділки 0.05 мм для визначення ширини розкриття тріщин.

Геометричні характеристики заносять до табл. 3.1.

На рис. 3.1 наводиться схема армування балки.

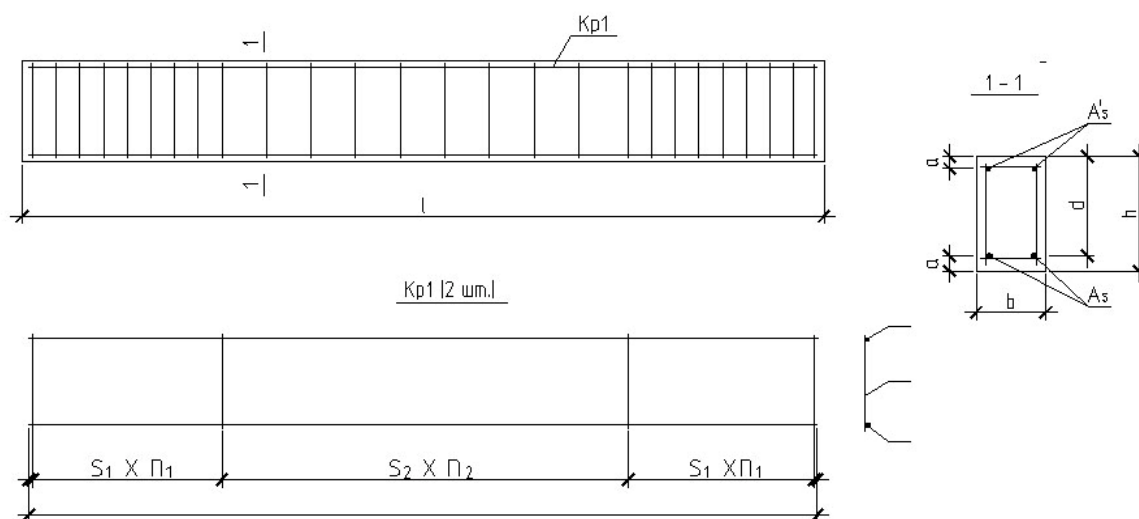


Рис. 3.1

Таблиця 3.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Величина
1	Висота перерізу, см	h	
2	Робоча висота перерізу, см	d	
3	Ширина перерізу, см	b	
4	Площа перерізу робочої арматури, см ²	A_s	
5	Площа перерізу монтажної арматури, см ²	A_s'	
6	Відстань від верхньої і нижньої граней перерізу до арматури, см	a, a'	
7	Довжина балки, см	l	
8	Розрахунковий проліт балки, см	l_0	
9	Шаг хомутив, см	s	
10	Клас бетону	C	

Фізико-механічні характеристики матеріалів (бетону і арматури) приймають за результатами випробувань (див. лаб. роботи №№ 1,2).

Для розрахунку несучої здатності балки приймають фактичну або умовну межу текучості арматури f_{yk} .

Теоретичну несучу здатність можна визначити за спрощеною діаграмою залежності «напруження-деформації» з використанням призмної міцності бетону f_{ck} і міцності арматури f_{yk} або $f_{0,2k}$.

За умови рівноваги внутрішніх і зовнішніх сил несуча здатність

$$M_{sect} = 0.8bx f_{ck}(d - 0.4x) + A_s' f_{yk}'(d - a') ,$$

де $x = (f_{yk} A_s - f_{yk}' A_s') / 0.8 f_{ck} b$.

Теоретично розрахунок несучої здатності балки також можна виконати за нелінійною деформаційною методикою.

Порядок розрахунку:

1. Визначають відносну кривизну балки

$$\overline{\kappa} = \frac{b f_{ck}}{f_{yk} A_s} \left(\frac{a_1}{2} \gamma^2 + \frac{a_2}{3} \gamma^3 + \frac{a_3}{4} \gamma^4 + \frac{a_4}{5} \gamma^5 + \frac{a_5}{6} \gamma^6 \right),$$

де $\gamma = \varepsilon_{c(1)} / \varepsilon_{cl}$,

$\varepsilon_{c(1)}$ – деформації бетону стиснутої фібри (рекомендовано приймати $\varepsilon_{c(1)} = 0,1 \varepsilon_{cul}$),

ε_{cul} – максимальні деформації стиску,

ε_{cl} – деформація стиснутого бетону при максимальних напруженнях.

a_k – коефіцієнти для нелінійного розрахунку залізобетонних конструкцій за першою групою граничних станів, що залежать від класу бетону (додаток Д, ДБН В.2.6:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції).

2. Визначають кривизну $\kappa = \overline{\kappa} \varepsilon_{cl}$.

3. Визначають висоту стиснутої зони бетону $x = \varepsilon_{c(1)} / \kappa$.

4. Визначають несучу здатність перерізу

$$M_{sect} = \frac{bf_{ck}}{\alpha^2} \left(\frac{a_1}{3} \gamma^3 + \frac{a_2}{4} \gamma^4 + \frac{a_3}{5} \gamma^5 + \frac{a_4}{6} \gamma^6 + \frac{a_5}{7} \gamma^7 \right) + f_{yk} A_s (x - a').$$

Схема навантаження балки і розташування вимірювальних пристроїв показана на рис. 3.2.

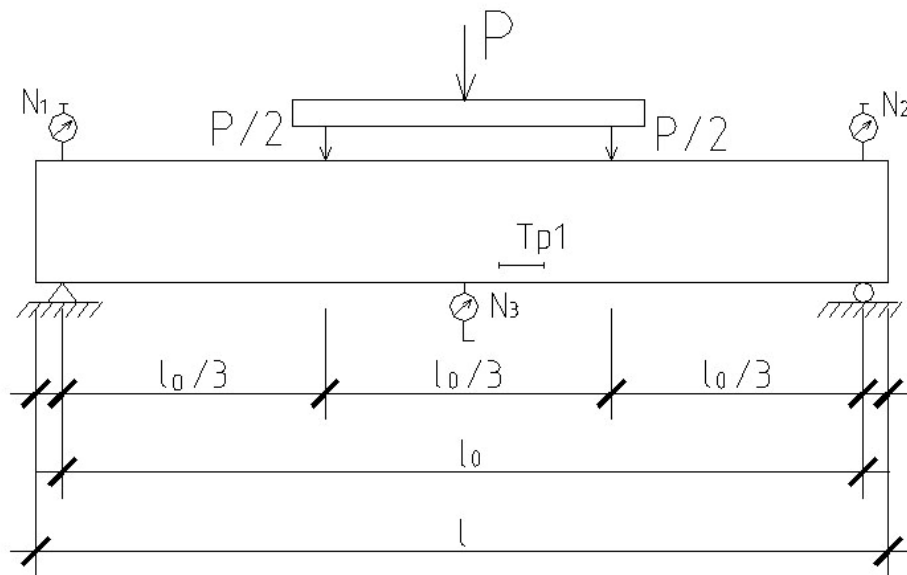


Рис. 3.2

Порядок випробувань

Балка спирається шарнірно на дві опори. Навантаження виконують двома зосередженими силами (рис. 3.2). Навантаження прикладають ступенями (не більше 10% від очікуваного руйнуючого навантаження). Після кожної ступені навантаження фіксують відліки в табл.3.2.

Таблица 3.2

№ ст.	P, кН	M, кНсм	Показания индикаторів * 0.01 мм								Прогин Σf , мм	Тр* *0.01, мм	σ_s , кН/см ²
			N_1	Δ_1	N_2	Δ_2	N_3	Δ_3	$\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$	$\frac{\Delta_3 - \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}}{2}$			
1													
2													
3													

Теоретичну величину прогину до появи тріщин визначають формулою

$$f_{теор.} = 23/216 * M l_0^2 / E_{ck} I_{red}.$$

В кінці випробувань фіксують характер руйнування балки, величини руйнуючого навантаження, а також навантаження тріщиноутворення.

Характер руйнування балки зарисовують.

Порівняння фактичних результатів з результатами теоретичних розрахунків

Фактичний згинальний момент руйнування балки визначають від суми навантажень

$$M_{\text{факт.}} = (P_{\text{max}} + P_{\text{в.в.}} + P_{\text{пр.}}) / 2 * l_0 / 3 ,$$

де P_{max} – максимальне навантаження,

$P_{\text{в.в.}}$ – власна вага балки,

$P_{\text{пр.}}$ – маса вимірюючих приладів.

Розбіжність між теоретичним і фактичним результатами

$$\Delta M = (M_{\text{теор.}} - M_{\text{факт.}}) / M_{\text{теор.}} * 100\% .$$

Питання для самоперевірки

1. Які геометричні характеристики впливають на міцність перерізу?
2. Які фізико-механічні характеристики бетону використовують в роботі?
3. Які дані покладені в основу розрахунку міцності нормальних перерізів згинальних елементів?
4. Наведіть схему навантажень і випробування балки.
5. Наведіть схему тріщиноутворення.
6. Які типи руйнування можливі у згинальних елементах?

Лабораторна робота № 4

Випробування залізобетонної балки на згин з руйнуванням її в похилому перерізі

Цілі роботи

1. Навчити студентів методиці визначення міцності залізобетонної балки в похилому перерізі.
2. Визначити характер утворення похилих тріщин.
3. Визначити фактичну величину руйнуючого навантаження.

Для випробувань використовують такі самі прилади, що в лабораторній роботі № 3.

Характер армування балки і геометричні характеристики наведені на рис. 4.1 і в табл. 4.1.

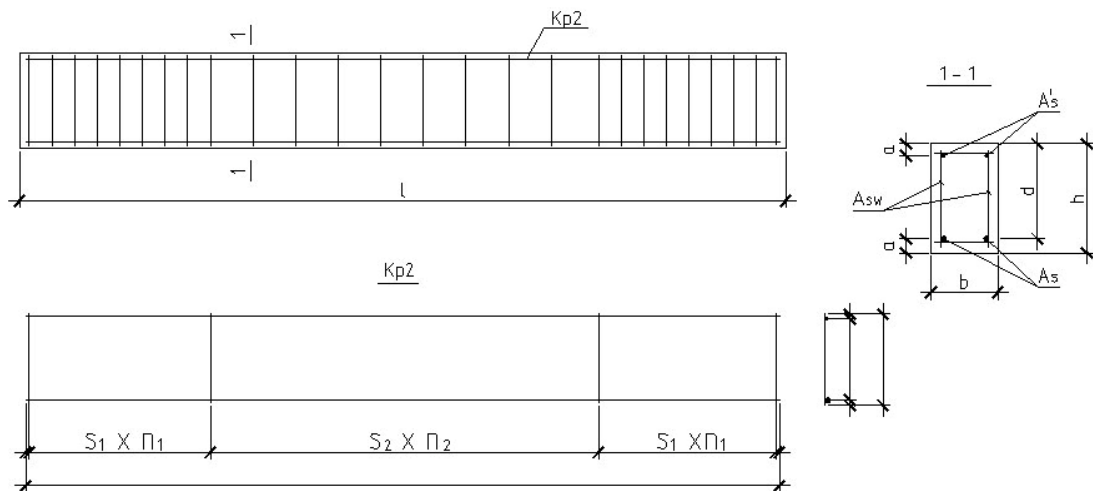


Рис. 4.1

Таблиця 4.1

№ п/п	Найменування	Позначення	Величина
1	Висота перерізу, см	h	
2	Робоча висота перерізу, см	d	
3	Ширина перерізу, см	b	
4	Площа поперечного перерізу робочої арматури, см^2	A_s	
5	Площа поперечного перерізу стиснутої арматури, см^2	A_s'	
6	Площа поперечного перерізу поперечної арматури, см^2	A_{sw}	
7	Крок поперечної арматури, см	s	

Фізико-механічні характеристики бетону і арматури приймають за результатами випробувань (див. лабораторні роботи №№ 1,2).

Теоретичну величину несучої здатності балки у похилому перерізі визначають як суму несучої здатності бетону і поперечної арматури

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s},$$

де несучу здатність бетону приймають як більшу з величин

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} K \sqrt{100 \rho_l f_{ck}}) b d,$$

$$V_{Rd,c \min} = V_{\min} b d,$$

де приймають:

$$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c, \quad \gamma_c = 1.3;$$

коефіцієнт поздовжнього армування $\rho_l = A_{sl} / b d \leq 0.02$,

A_{sl} – площа розтягнутої арматури, що продовжується за розглядуємий переріз,

f_{ck} – характеристичне значення міцності бетону на стиск (МПа);

$$K = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2, \quad (d - \text{в мм});$$

$$V_{\min} = 0,035 \sqrt{K^3 f_{ck}}.$$

Несучу здатність (опір) поперечної арматури приймають як меншу з величин

$$V_{Rd,s1} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \operatorname{ctg} \theta,$$

$$V_{Rd,s2} = \frac{\alpha_{sw} b z v_1 f_{cd}}{\operatorname{ctg} \theta + \operatorname{tg} \theta},$$

де: θ знаходиться в межах $21,8^\circ < \theta < 45^\circ$. Для більшості задач $\operatorname{ctg} \theta = 2,5$; $\operatorname{tg} \theta = 0,4$;

плече внутрішньої пари сил приймають $z = 0,9d$;

f_{ywk} – характеристичне значення опору текучості поперечної арматури;

α_{cw} – коефіцієнт, що враховує рівень напружень в стиснутому поясі; за відсутності осової сили $\alpha_{cw} = 1$;

v_1 – коефіцієнт зменшення міцності бетону з тріщинами при зсуві, що дорівнює: $v_1 = 0,6$ при $f_{ck} \leq 60$ МПа,

$v_1 = 0,9 - f_{ck}/200 \geq 0,5$ при $f_{ck} \geq 60$ МПа.

Схема випробувань балки наведена на рис. 4.2.

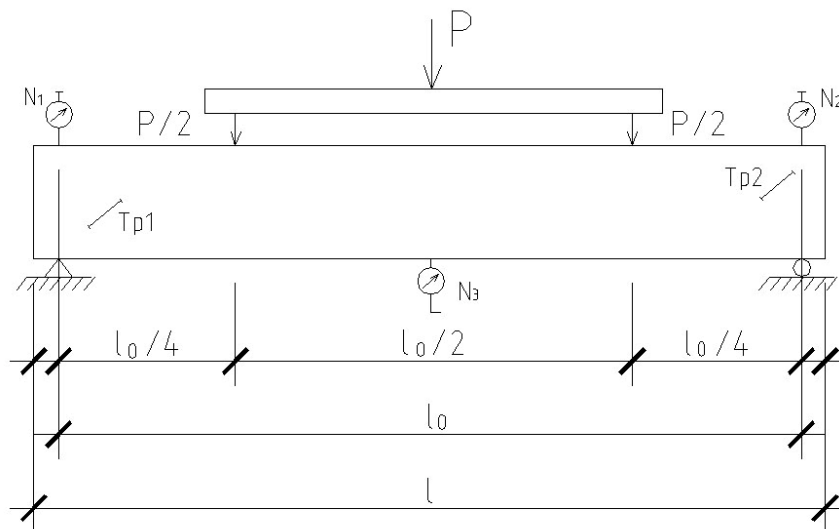


Рис. 4.2

За допомогою тензометра $Tr1$ вимірюють відносні деформації розтягу, за допомогою тензометра $Tr2$ – відносні деформації стиску.

Результати іспитів заносять до табл.4.2.

Таблиця 4.2

№ етапу	Поперечна сила V , кН	Тр1, база 20 мм			Тр2, база 20 мм		
		Відлік A_1 0.01 мм	ΔA_1 0.01 мм	Деформація ε_1	Відлік A_2 0.01 мм	ΔA_2 0.01 мм	Деформація ε_2
1							
2							
3							

Після іспитів фіксують характер руйнування і зарисовують карту тріщин.

Фактична руйнуюча сила $V_{\text{факт.}} = (P_{\text{max}} + P_{\text{в.в.}} + P_{\text{пр}}) / 2$,

де $P_{\text{в.в.}}$ – власна вага балки,

$P_{\text{пр}}$ – вага вимірювальних пристроїв.

Розбіжність між $V_{\text{теор.}}$ і $V_{\text{факт.}}$

$$\Delta V = (V_{\text{теор}} - V_{\text{факт}}) / V_{\text{теор}} * 100\% .$$

Запитання для самоперевірки

1. Які міцнісні та геометричні характеристики визначають міцність похилого перерізу?
2. Наведіть схему навантаження при випробуваннях.
3. Поясніть характер деформацій бетону в зоні похилого перерізу.
4. Поясніть характер тріщиноутворення і схему руйнування балки.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з курсу

ЗАЛІЗОБЕТОННІ ТА КАМ'ЯНІ КОНСТРУКЦІЇ

*(для студентів 3, 4 курсів денної і заочної форм навчання
та слухачів другої вищої освіти напряму підготовки
6.060101 – „Будівництво” спеціальності „Промислове і цивільне
будівництво” та „Охорона праці в будівництві”)*

Укладачі: **СТОЯНОВ Євген Геннадійович,**
ПСУРЦЕВА Ніна Олексіївна

Відповідальний за випуск: *О. М. Шаповалов*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2013, поз. 4М

Підп. до друку 06.02.2013
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60×84/16
Ум. друк. арк. 1,0
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.